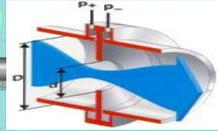




Métrologie des Fluides et Débitmétrie Industrielle



Mohamed AICHOUNI

Dr d 'Etat, PhD, Maître de Conférences

Université de Mostaganem



Objet de la Présentation

Position



Pratique

Débitmétrie

Théorie



Aspects Métrologiques

Pourquoi la métrologie des fluides ?

- 2/3 de la matière dans l'univers est **fluide**
- **Fluide** = base de toute activité humaine



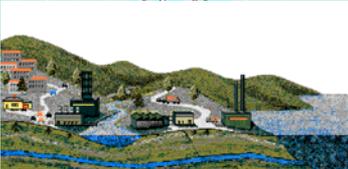
INDUSTRIE



ENVIRONNEMENT



ECONOMIE



POLITIQUE

MESURE : Pression, Température, Niveau ou Débit

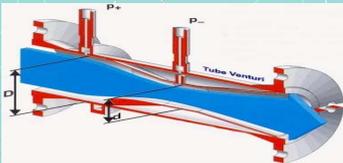
Rappels de Mécanique des Fluides (1)

- **Equation de continuité** (Conservation de la Masse) :

$$Q = U_1 S_1 = U_2 S_2$$
- **Equation de Bernoulli** (Conservation de l'Energie)

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g}$$

U : vitesse moyenne dans une section de l'écoulement [m/s]
 P : Pression statique du fluide [N/m²]
 Z : Côte ou Position [m]
 α : Coefficient de l'énergie cinétique (dépend du profil de la vitesse) α = 1 : cas de la vitesse uniforme



Effet de la viscosité du fluide :

les frottements visqueux influent sur la répartition de la vitesse dans la section



Fluide visqueux



Fluide peu visqueux



Fluide parfait

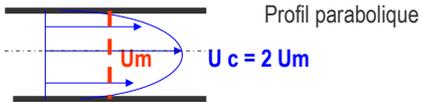


Rappels de Mécanique des Fluides (2)

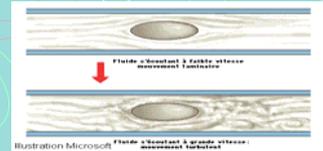
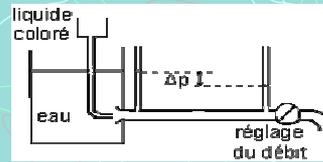
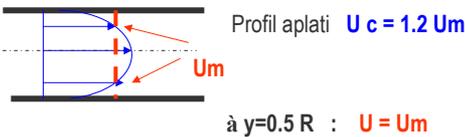
Régimes d'écoulement:

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad : \text{ Nombre de Reynolds}$$

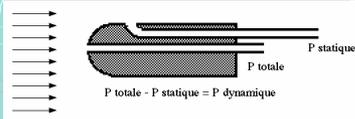
- $Re < 2000$ **Écoulement Laminaire**



- $Re > 2200$ **Écoulement Turbulent**



Tube de Pitot : Mesure de la vitesse

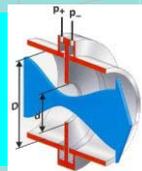
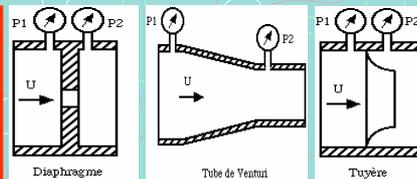


Débitmètre à Organe Déprimogène

- Un **étranglement** de l'écoulement cause une chute de pression $\Delta P = P_1 - P_2$
- La mesure de ΔP permet de calculer le débit Q:

$$Q = K \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

- K : Constante (C_d, d, D)
- **Types:** Diaphragme, Venturi, Tuyère
- **Normes ISO 5167**



Caractéristiques Métrologiques

Etendu de Mesure =
 $0.01 - 10^5 \text{ m}^3/\text{h}$

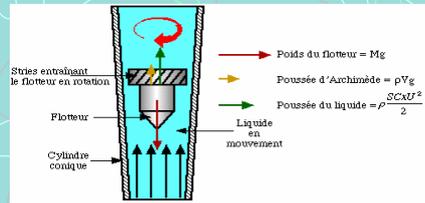
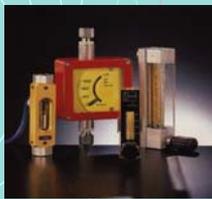
Précision : $\pm 3\%$
Pertes de charge importantes



Débitmètre Rotamètre

- Le **Rotamètre** est constitué d'un petit flotteur placé dans un conduit vertical conique
- Le **débit fluide Q** est donné par la relation:

$$Q = az \sqrt{\frac{2g \pi (M - \rho V)}{\rho C x}}$$



Caractéristiques Métrologiques

Etendu de Mesure =

0.5- 2x10⁵ l/h (gaz)

0.2-2 2x10⁵ l/h (liquide)

Classe de Précision : 3 - 10% de EM

Pertes de charge importantes

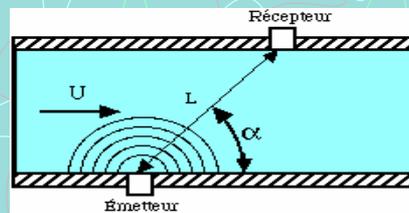


Débitmètre à Ultrasons

- La mesure du **temps de parcours** d'une onde ultrasonique entre l'émetteur et le récepteur (piezoélectrique) permet de déterminer la **vitesse** de l'écoulement **U** :

$$t = \frac{L}{c + U \cos(\alpha)}$$

- Technique non intrusive; ne perturbe pas l'écoulement.



Caractéristiques Métrologiques

Etendu de Mesure =

0.1- 10⁵ m³/h

D = quelques mm - plusieurs m

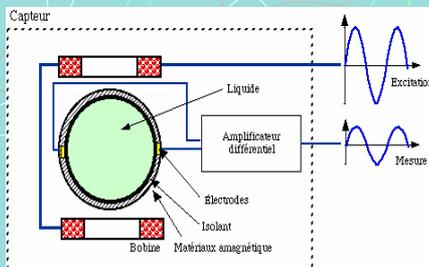
Précision : ± 1%

Aucune Perte de charge



Débitmètre Electromagnétiques

- Le principe est basé sur La mesure de la **force électromotrice** engendrée par le déplacement du fluide (électroconducteur) dans un champ magnétique pour la détermination du **débit Q**.



Caractéristiques Métrologiques

Etendu de Mesure =

Vitesse U : 1- 10 m/s

Précision : $\pm 1\%$

Aucune Perte de charge



Débitmètre à Effet Vortex

- Un **obstacle profilé** placé dans l'écoulement génère à l'aval des **tourbillons** dont la fréquence est proportionnelle à la vitesse de l'écoulement.
- S : Nombre de Strouhal

$$S = \frac{f \cdot D}{U}$$

- S = 0.185 : Re = 300 - 2×10^5



Caractéristiques Métrologiques

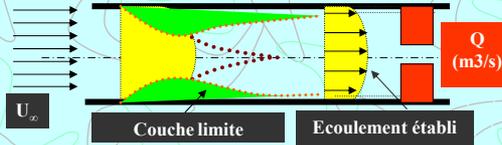
Précision : $\pm 1,5\%$

Perte de charge Importante



Pratique de la Débitmètrie (Comptage des Fluides)

Conditions Standards (ISO)



- Ecoulement établi (**Longues distances**)
- Bon état de surface paroi / débitmètre

Conditions Réelles



- Espace réduit ($L \ll \lambda$)
- Milieu fluide agressif
- Surface et géométrie dégradées

METROLOGIE

Scientifique Industrielle Légale



$$\Delta Q(\%) = f(Re, \varepsilon, P, T)$$



Débitmètrie Scientifique



Programmes de Recherche menés par des grands laboratoires : N.I.S.T, S.W.R.I (USA), N.E.L (GB), CERT (France) etc..

Financement par les Compagnies pétrolières Internationales (Texaco, Elf, Daniel, British Gas, Gaz de France)



Flowprogramme (D.T.I, GB) (www.flowprogramme.co.uk), EUROMET, WELMEC (www.welmec.org)



Objectifs

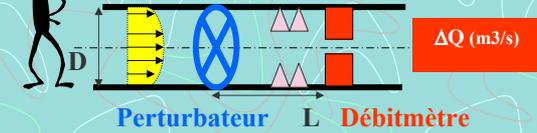
- Quantification des Erreurs ΔQ dans les conditions réelles.
- Réduction des erreurs ΔQ .
- Actualisation des Normes et Standards.





Quantification des Erreurs de Mesure

$$\Delta Q (\%) = f (Re, \varepsilon, P, T)$$



Débitmètre	$\Delta Q (\%)$ tolérée	$\Delta Q (\%)$	Chercheur
Diaphragme	$\pm 1 \%$	$\pm 17 \%$	Ting (1991) et Morisson (1992), USA
Venturi	$\pm 3 \%$	$\pm 30 \%$	Aichouni (2000), Univ. Mostaganem Stevan (1999) et Hall (2000), NEL, GB
Turbine	$\pm 1 \%$	$\pm 5 \%$	Taïbi (1995), ONML, Algérie. Paik (1994), Canada.
Ultrasonique	$\pm 1 \%$	$\pm 15 \%$	Matingly (1996), NIST, USA et Brown (1999), NEL, GB

Conclusions

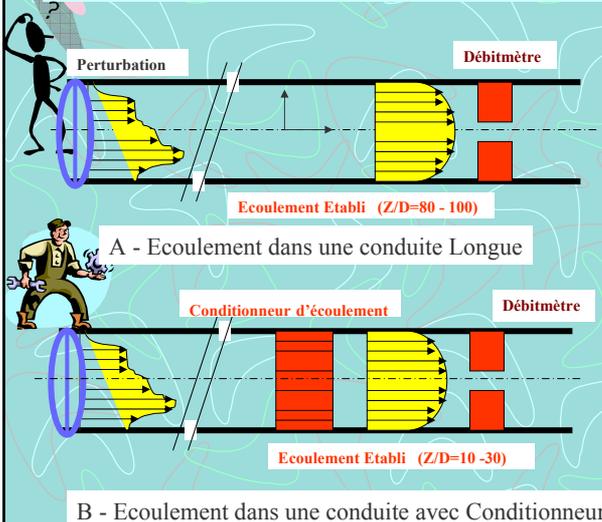
$$\Delta Q_{\text{réel}} \gg \Delta Q_{\text{iso}}$$



Vérification et étalonnage
périodiques des débitmètres



Réduction des Erreurs de Mesure



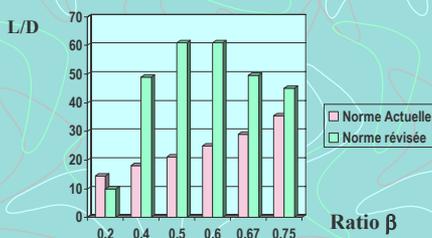
Conclusions

- Les Conditionneurs d'écoulement (Tranquilliseurs) permettent une réduction des erreurs ΔQ .
- Développement d'assemblage (**Conditionneur / Débitmètre**) assurant un comptage précis (Ghallagher 1999)

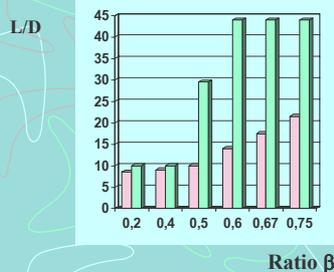


Révision et Actualisation des Normes

Diaphragme , 2 coudes au même plan



Diaphragme , 2 coudes plans \perp



- **Les Normes révisées** Préconisent plus de longueur droite de développement.

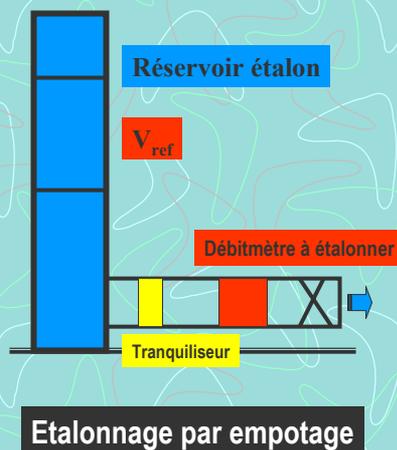


Etalonnage des Débitmètres

- L'Etalonnage consiste à déterminer les performances métrologiques du débitmètres sous les conditions réelles de service.

Méthodes d'Etalonnage :

- Méthode par **empotage**
- Méthode du **tube étalon** (liquides)
- Méthode par **tuyère sonique** (gaz)
- Le matériel d'étalonnage doit être **raccordé à un étalon national** (ou international)





CONCLUSIONS



En raison de l'importance économique de la débitmètrie à l'échelle nationale



Il y 'a urgence de la **Prise en charge** du problème de la débitmètrie des fluides d'un point de vue **Métrie** :

- **Scientifique** (Investissement dans la Recherche Universitaire et la Formation du Personnel)
- **Industrielle** (Pratique Correcte)
- **Légale** (Cadre Réglementaire)

